e-ISSN (Online): 2790-3230

Analyse des changements par télédétection de la couverture végétale du bassin de Zio (Sud-Ouest Togo)

Changes analysis by remote sensing of plant coverage in the Zio basin (south-west Togo)

Essowazina Seou*, **Paroussiè Wiyao Takou,** et **Tchaa Boukpessi**

Résumé

Cette étude réalisée dans le bassin de Zio au sud-ouest du Togo a pour objectif d'établir la cartographie de l'évolution des unités d'occupation du sol de 1986 à 2017 et d'analyser les changements de l'évolution du couvert végétal. La planification et gestion spatialisée par les SIG exige un certain nombre d'éléments. À cet effet, les images satellitaires Landsat de 1986, 2001 et 2017 ont été exploitées à l'aide de la télédétection. La classification supervisée a permis de discriminer cinq classes d'occupation du sol (forêts et savanes boisées, savanes arborées et arbustives, savanes herbeuses, bâti/sol nu et champs/jachères). L'analyse des résultats issus des changements d'occupation du sol montre un remaniement du paysage accompagné d'une évolution progressive des savanes arborées/arbustives, des champs/jachères et des bâtis/sols nus et d'une régression des forêts/savanes boisées et des savanes herbeuses. L'analyse de la matrice de transition montre une stabilité des classes à moins de 50% entre 1986 et 2017. Ce qui montre que le couvert végétal du bassin du Zio a connu une évolution essentiellement régressive au cours de ces trois dernières décennies**.** Cette régression du couvert végétal constitue un véritable problème pour la survie des populations dudit bassin. C'est pourquoi des mesures doivent être prise afin d'assurer une gestion durable de ces écosystèmes déjà très fragile.

Mots clés : Changement, télédétection, couverture végétale, bassin du Zio.

Abstract

This study carried out in the Zio basin in the south-west of Togo aims to establish the cartography of the evolution of land use units from 1986 to 2017 and to analyze the changes in the evolution of the vegetation cover. Spatial planning and management by GIS require a number of elements. It concerns, among other things, the dynamics of change of surface states. To this end, the spatial and temporal evolution of the land use of the Zio basin in south Togo has been carried out. The Landsat satellite images of 1986, 2001 and 2017 were exploited using remote sensing. Supervised classification allowed to obtain five land cover classes (forests and wooded savannas, wooded and shrub savannas, grassy savannas, buildings / bare soils and fields / fallow). The analysis of the results from changes in land use shows a reorganization of the landscape accompanied by a gradual evolution of wooded/ shrub savannas, fields/ fallow and buildings/bare soils and a regression of forests/ wooded savannas and grassy savannas. The analysis of the transition matrix shows a stability of the classes at less than 50% between 1986 and 2017. This shows that the vegetation cover of the Zio basin has undergone an essentially regressive evolution over the past three decades. This regression oh the vegetation cover constitutes a real problem for the survival of the populations of the said basin. This is why measures must be taken to ensure the sustainable management of these already very fragile ecosystems.

Keyword: Change, remote sensing, vegetation cover, Zio basin.

*Département de géographie, Université de Lomé, LOMÉ, TOGO. (Togo)
Auteur correspondant : nicodemeseou2@gmail.com

e-ISSN (Online): 2790-3230

1. Introduction

La majorité des paysages de notre planète est actuellement transformée par les activités humaines pour répondre aux besoins socio-économiques des populations sans cesse grandissantes (Farig, 2003). Cela se traduit par une dynamique de la structure spatiale des paysages. Dans les régions tropicales, l'environnement végétal fait l'objet de pressions permanentes liées à diverses activités dont les conséquences prennent une allure catastrophique, surtout pour les écosystèmes fragiles (Djènontin, 2010). En Afrique de l'Ouest, les principales perturbations des écosystèmes qui contribuent à la modification des paysages sont la déforestation, la dégradation des sols, la pollution par des pesticides chimiques et l'eutrophisation due à l'apport d'engrais (Gomgnimbou *et al*., 2010). Les activités humaines sont donc malheureusement à l'origine de la dégradation forestière qui en déstructurant la configuration des paysages végétaux, menacent la survie de la diversité biologique (Henle *et al*., 2004). Le monitoring des changements spatio-temporels de l'occupation des terres est devenu possible avec l'avènement des images satellites. En effet sur la base des images satellites, il est possible de faire une analyse historique de l'occupation des terres sur une période de cinq décennies étant entendu que le premier satellite civil (Landsat 1) qui s'intéresse à l'état de l'occupation des terres fut lancé en 1972 (Escadafal, 2007 ; Gharam-Messedi & Delaître, 2007).

Le Togo à l'instar d'autres pays de la sous-région connait une croissance de sa population qui entraine par ricochet, le développement des activités (agriculture, élevage, habitat, aménagement du territoire etc.) au détriment des paysages végétaux.

Dans le bassin du Zio au sud-ouest du Togo, certains facteurs comme l'accroissement de la population, la recherche du profit, la réalisation des projets de grandes envergures notamment dans le domaine agricole et l'installation des infrastructures entrainent le développement de nouvelles activités génératrices de revenus. Tout ceci n'est malheureusement pas sans impact sur les paysages végétaux. Néanmoins, les changements spatio-temporels de l'occupation des terres constituent de nos jours un indicateur pertinent pour juger la santé d'un écosystème. Quelle est alors la tendance évolutive de la couverture végétale dans le bassin du Zio ?

Plusieurs études ont été menées sur des parties ou sur la totalité des végétaux du bassin du Zio (Seou, 2016 ; Kudamah, 2016 ; Takou, 2016 ; Hetcheli, 2013 ; Adjossou, 2009 ; Agbegnido, 2005 ; Kokou, 1998 ; Guelly, 1994 ; Akpagana, 1989), mais aucune de ces études ne s'est intéressée à l'évolution de la couverture végétale du bassin du Zio dans son ensemble. Pourtant cette zone fait l'objet de plusieurs mutations aux conséquences parfois irréversibles.
Cependant, les études de la végétation réalisées sur la base des archives de la télédétection permettent de déceler les changements physionomiques et même biologiques qui affectent les écosystèmes forestiers (Arouna et *al*, 2017). La présente étude a pour but de contribuer à une gestion durable des paysages végétaux du bassin de Zio au Togo. Elle envisage spécifiquement à (i) Etablir la cartographie de l'évolution des unités d'occupation du sol du bassin de Zio de 1986 à 2017 et (ii) d'analyser les changements de l'évolution du couvert végétal dans le bassin de Zio de 1986 à 2017.

2. Matériels et méthodes

Zone d'étude

Le bassin du fleuve Zio qui fait l'objet de la présente étude est situé dans la partie sud-ouest du Togo et s'étend du plateau de Danyi (Région des plateaux) à Lomé (Région maritime). Il est situé entre 0° 35' 24'' et 1° 25' 48'' longitudes Est et 6° 9' 54''et 7 ° 18' 36'' latitudes Nord (Figure 1). Il a une superficie de 2800 km² et s'étend sur les zones écologiques III, IV, V. Situé à quelques kilomètres du grand Lomé, le bassin du Zio correspond aux grandes étendues de plaines avec des altitudes situées entre 200 et 400 mètres. Il appartient aux vastes pénéplaines précambriennes méridionales et centrales du pays. La pédogenèse du bassin du Zio est fonction de la topographie, de la lithologie et de l'hydrographie. Ainsi, on distingue des sols riches et diversifiés à savoir les sols ferrallitiques, les sols ferrugineux tropicaux, les sols hydromorphes et les sols peu évolués.

Le climat est de type subéquatorial guinéen à quatre saisons avec deux variantes : le type guinéen de montagne plus pluvieux avec environ 1 600 mm/an et le type guinéen de plaine, moins pluvieux avec 1 000 à 1 300 mm/an. La végétation est une mosaïque de forêts et de savanes.

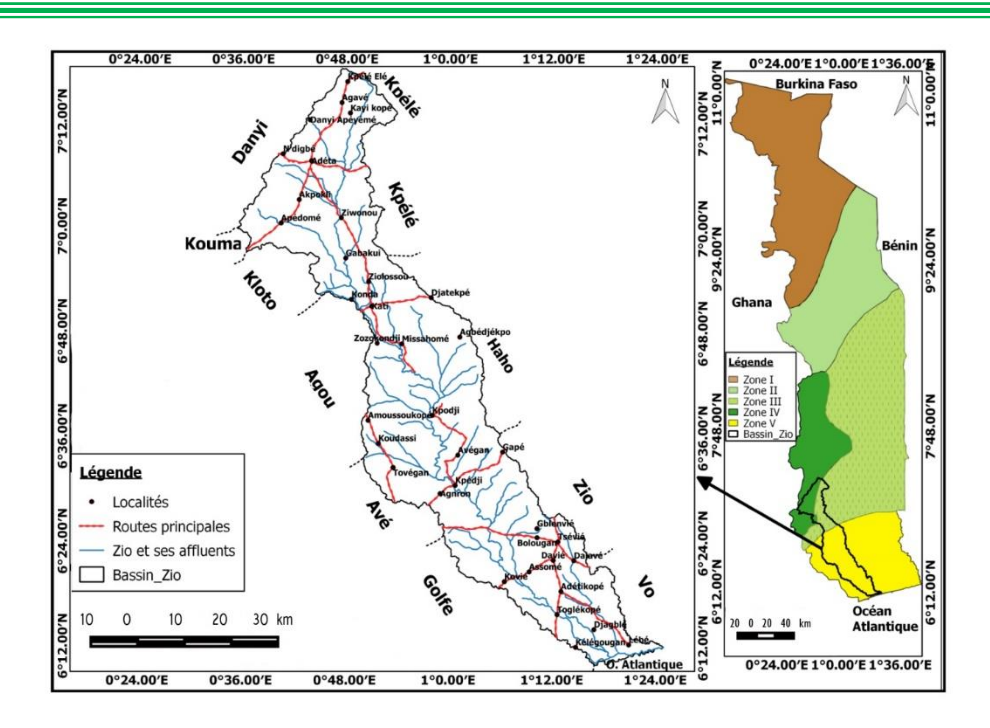


Figure 1 : Carte de la zone d'étude
Source : Carte IGN TOGO

Le bassin du Zio est habité majoritairement par les Ewé. La population est estimée à 276 456 habitants en 2020 (DGSCN, 2021). L'agriculture reste l'activité principale de la zone d'étude. Elle est de type traditionnel et la production est liée aux conditions climatiques et pédologiques.

1.2. Collecte des données

Compte tenu de l'absence des données cartographiques passées couvrant la zone d'étude, le choix de l'imagerie satellite Landsat a été opéré. Elle offre l'avantage d'être gratuite et multitemporelle. Elle constitue ainsi un idéal pour l'analyse des changements d'occupation du sol. Les caractéristiques de ces images sont consignées dans le tableau 1. Deux scènes satellitales ont été téléchargées pour chaque période retenue (trois scènes pour l'année 2001 car les deux scènes ne couvraient pas l'ensemble de la zone d'étude) compte tenu de l'étendue de la zone d'étude. Les scènes ont été choisies en saison sèche où la couverture nuageuse est moindre. Il s'agit des images ayant subi des corrections géométriques (géoréférencement, corrections des distorsions) ;

La feuille topographique NB-31-XIV-XIII de Lomé au 1/200 000 de 1980 produite par l'Institut Géographique National de France a permis de digitaliser les limites administratives, le réseau hydrographique ainsi que les voies de communication.

Les relevés GPS de 580 points collectés sur le terrain, et représentatifs de chaque classe d'occupation du sol, ont servi tant pour la classification que pour la validation des résultats issus de la classification.

Traitement et analyse des données

Cartographie de l'occupation du sol

Prétraitement des images satellitaires

Avant de procéder à la classification thématique des images satellitaires, ces images ont subi dans un premier temps des prétraitements constitués d'opérations visant à améliorer leurs aspects radiométrique et géométrique pour en extraire des informations significatives.
Il s'agit du mosaïquage des différentes scènes pour chaque date retenue et de la combinaison des bandes dans le but d'obtenir une seule image multispectrale.

Tableau 1 : Caractéristiques des images satellites utilisées pour la classification

2017	1	Landsat 8	193	55	15/04/2017	30 m
	2	Landsat 8	192	56	15/12/2015	30 m
2001	1	Landsat 7	193	55	17/12/2001	30 m
	2	Landsat 7	192	55	13/12/2001	30 m
	3	Landsat 7	192	56	04/04/2001	30 m
1986	1	Landsat 5	193	55	08/02/1987	30 m
	2	Landsat 5	192	56	13/01/1986	30 m

Afin d'améliorer leur apparence et faciliter l'interprétation et l'analyse visuelle des scènes, le rehaussement de la qualité des images a été fait. Après ces opérations, l'extraction du secteur d'étude à partir des images multispectrales obtenues suivant les limites du bassin a été réalisée. Cependant, les autres données cartographiques complémentaires (limites administratives, données de GPS, données hydrographiques, voies de communication) ont toutes été reprojetées. La composition colorée TM et ETM+ en 4-3-2 et OLI en 5-4-3 a été adoptée, car elle présente les meilleures discriminations des types d'occupation du sol dans notre cas.

Classification des données spatiales

Nomenclature des classes et choix des aires d'entraînement

Au total, cinq classes d'occupation et d'usage du sol ont été identifiées suite à la classification non supervisée des images Landsat. Il s'agit de : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/Sb : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses. Le tableau 2 présente les classes d'occupation et d'usage du sol retenues et leur correspondance au Togo et à la FAO.

Tableau 2 : Les classes d'occupation du sol retenues pour la classification et leur correspondance au TOGO et à la FAO (Di Gregorio et Jansen, 1998)

N°	Classes	Classification nationale(TOGO)	Classification FAO
1	Forêts/savanes boisées	Forêts	Végétaux naturels ou semi-naturels
2	Savanes arborées/arbustives	Savanes	
3	Savanes herbeuses		
4	Mosaïque champs-jachères	Mosaïque jachère-culture	Zones terrestres cultivées et gérées
5	Bâtis et sols nus	Agglomérations	Surfaces artificielles et surfaces nus

Ensuite, le contrôle-terrain a été effectué pour vérifier les classes de pixels issues de la classification.
Les aires d'entraînement sont des sites représentatifs des caractéristiques numériques des classes qui permettent de définir les signatures spectrales de chaque unité d'occupation du sol. Les aires d'entraînement ont été délimitées loin des zones de transition afin d'éviter d'inclure des pixels mixtes, c'est-à-dire des pixels qui pourraient être classés dans deux classes distinctes. Sur les images, les aires d'entraînement sont tracées au pixel près et bien dispersées sur l'ensemble du secteur d'étude. Ces aires d'entraînement sont représentatives de la diversité de chaque classe d'unité d'occupation du sol. Le nombre d'aires d'entraînement est d'autant plus grand que la classe est hétérogène. La taille de l'aire d'entraînement doit être supérieure à l'erreur de localisation et inférieure à l'objet à détecter (Kioko & Okello, 2010).

Le choix de la classification supervisée

Dans la classification supervisée, l'analyste d'image supervise le processus de catégorisation des pixels en spécifiant à l'algorithme informatique, des descripteurs numériques de divers types d'occupation des

terres présents dans la scène. Ainsi, des échantillons représentatifs des sites connus (parcelles d'entraînement) ont été utilisés pour établir une caractéristique numérique clé pouvant décrire au mieux les attributs spectraux pour chaque type de classe. Dans ce cas, l'algorithme paramétrique choisi est le maximum de vraisemblance. La clé d'interprétation s'est basée sur les points GPS relevés au niveau des différentes unités d'occupation des terres.
Après la classification, chaque image interprétée a subi une vectorisation automatique avant d'être exportée au format shapefile pour être analysée dans un Système d'Information Géographique. La figure 2 présente la méthodologie générale adoptée pour le traitement d'images satellites.

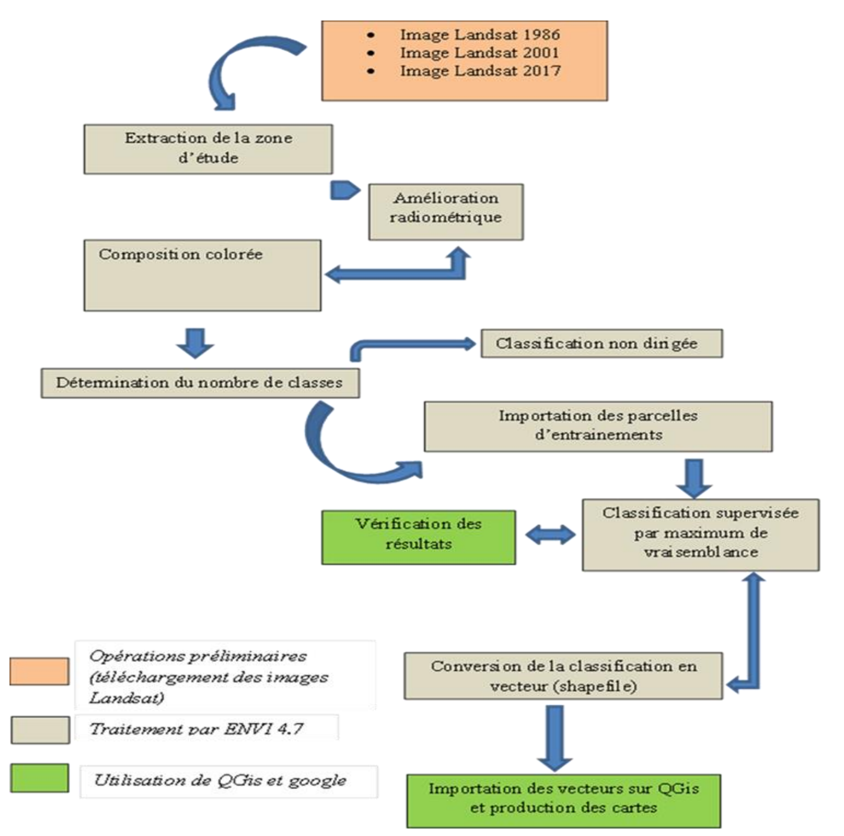


Figure 2 : Processus de traitement des images satellites

Traitement post-classification et validation des résultats
Une fois la classification terminée, des traitements ont été effectués pour affiner, évaluer la précision et valider les résultats. Le premier traitement a consisté à faire passer l'image classée dans un filtre majoritaire 3x3 (les pixels isolés sont transformés en pixels voisins majoritaires dans un carré de 3 pixels sur 3 autour du pixel considéré). La classification est simplifiée et débarrassée des pixels isolés. Enfin, la précision des classifications a été évaluée à travers l'utilisation d'une matrice de confusion (Foody, 2002). À cet effet, les résultats des classifications ont été confrontés à un ensemble de relevés de GPS collectés sur le terrain. Deux indices de validation de classification que sont la précision globale (proportion de pixels bien classés, calculés en pourcentage) et l'indice de Kappa (rapport entre les pixels bien classés et le total des pixels sondés) (Skupinski *et al.*, 2009), sont alors déterminés.

Vérification de la qualité des classifications
La classification effectuée sur l'image MSS (1986) rééchantillonnée est correcte à 85,55% (coefficient Kappa), avec une précision globale de 89,17% (Tableau 4). Quant à la matrice de confusion de l'image TM (2001), elle donne 92,32% de précision globale pour un coefficient Kappa de 89,32%.

Tableau 3 : Indices d'évaluation de la précision des classifications d'images de 1986, 2001 et 2018 dans le bassin du Zio.

Année	Précision de la classification	Coefficient Kappa
1986	89,1753%	0,8555
2001	92,3251%	0,8932
2017	80,9721%	0,7527

Source : Travaux de laboratoire, 2019

Toutes les classes sont majoritairement bien discriminées avec toutefois quelques légères confusions. Enfin, la classification effectuée sur l'image Landsat ETM+ (2017) révèle un coefficient de Kappa de 75,27% pour une précision globale de 80,97%.

Détection et analyse des changements : Matrice de transition

Cette étape a permis de calculer les superficies des différentes classes d'occupation du sol au moyen du logiciel QGis. A partir de ces superficies, l'étude diachronique a été effectuée à partir des années de référence afin de faire ressortir la dynamique du couvert végétal du secteur d'étude. Cette dernière étape met en évidence les différentes formes de conversion qu'ont subies les formations végétales entre deux dates instantanées. Cette analyse est obtenue par croisement deux à deux des cartes d'occupation du sol afin de générer la matrice de transition. Elle est constituée de X colonnes et de Y lignes. Le nombre de colonnes de la matrice indique le nombre de formations végétales au temps t1 ; le nombre Y de lignes de la matrice est le nombre de classes de végétation converties au temps t2 et la diagonale contient les superficies des formations végétales restées inchangées. Les transformations se font donc des colonnes vers les lignes.

3. Résultats

Cartes d'occupation du sol entre 1986 et 2017 du bassin

La figue 3 présente les états d'occupation du sol du secteur d'étude en 1986, 2001 et 2017.

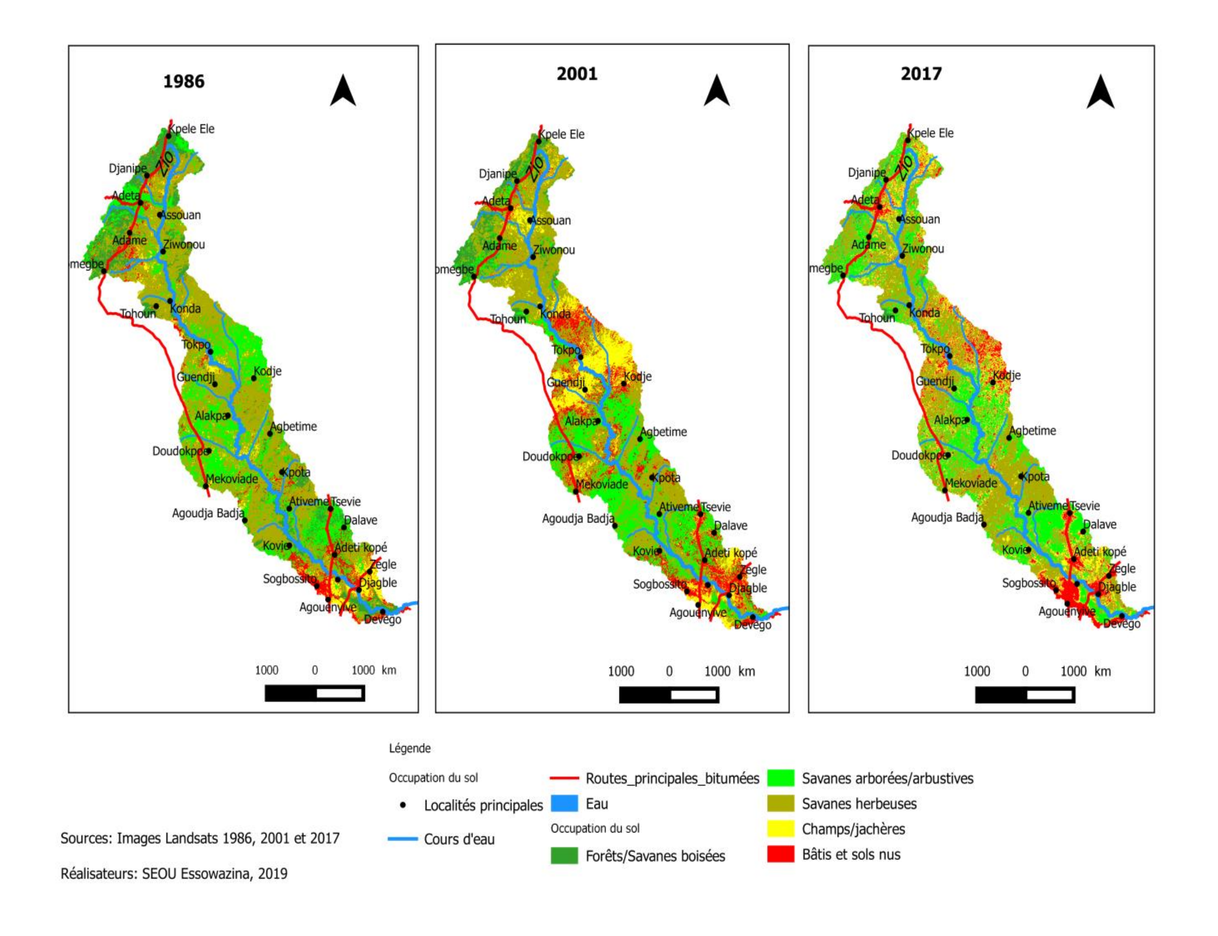


Figure 3 : Carte de l'état d'occupation des sols en 1986, 2001 et 2017 dans le bassin du Zio
Source : Travaux de laboratoire, 2019

Occupation du sol en 1986

Les statistiques issues du traitement de l'image Landsat montrent qu'en 1986, les savanes herbeuses et les savanes arborées/arbustives dominaient le paysage du bassin du Zio avec des proportions respectives de 43,48 % et 29,65 % (soit pour des superficies correspondantes de 123576,39 ha et 29,65 ha).

Tableau 4 : proportion des différentes classes d'occupation du sol en 1986

Classes	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
F/Sb	46720,98	16,44
SArb/Arbust	84262,5	29,65
SH	123576,39	43,48
CJ	15473,88	5,45
BSN	14167,17	4,98
Total	284200,92	100

Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/Sb : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses

Source : Travaux de laboratoire, 2019

Les autres unités d'occupation du sol à savoir les forêts et savanes boisées, les bâtis et sols nus et les champs et jachères avaient des proportions respectives de 16,44 %, 4,98 % et 5,45 % de la superficie totale soit dans l'ordre 46720,98 ha, 14167,17ha et 15473,88ha. Le paysage du bassin du Zio était donc dans son ensemble dominé par la savane sous toutes ces formes.

2.1.2. Occupation du sol en 2001

La répartition des différentes unités d'occupation du sol n'est pas homogène. Elle forme une mosaïque dont la superficie est fonction de l'importance des classes. Le tableau 5 montre clairement que le paysage était dominé par les savanes herbeuses (40,93% de la superficie totale soit 116327,88ha), suivies dans l'ordre d'importance des savanes arborées et arbustives (29,75% soit 84549,06ha), des champs et jachères (14,65% soit 41643,09 ha, du bâtis et sols nus (9,11% soit 25869,78ha) et en fin des forêts et savanes boisées (5,56% soit 15811,11ha).

Tableau 5 : proportion des différentes classes d'occupation du sol en 2001

Classes	**Superficie (ha)**	**Pourcentage (%)**
F/Sb	15811,11	5,56
SArb/Arbust	84549,06	29,75
SH	116327,88	40,93
CJ	41643,09	14,65
BSN	25869,78	9,11
Total	284200,92	100

Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/Sb : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses
Source : Travaux de laboratoire, 2019

Occupation du sol en 2017

Il ressort de l'analyse du tableau 6 qu'en 2017, les savanes herbeuses dominaient les paysages du bassin du Zio avec une proportion de 35,1% de la superficie totale du bassin soit 99749,52ha. Les savanes arborées et arbustives viennent en deuxième position avec 97422,57ha (34,28%).

Tableau 6 : proportion des différentes classes d'occupation du sol en 2017

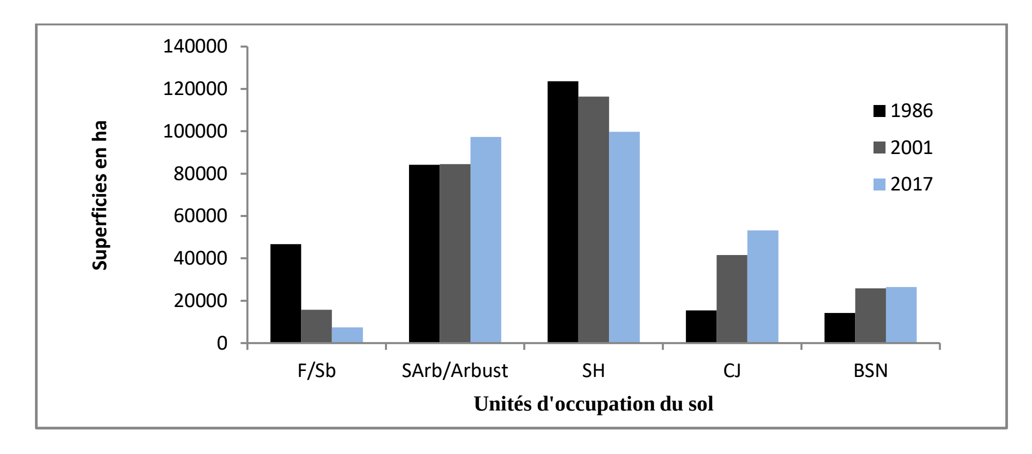
Classes	Superficie (ha)	Pourcentage (%)
F/Sb	7361,82	2,59
SArb/Arbust	97422,57	34,28
SH	99749,52	35,1
CJ	53189,19	18,71
BSN	26477,82	9,32
Total	284200,92	100

Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/Sb : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses
Source : Travaux de laboratoire, 2019

Les champs/jachères et le bâtis/sols nus ont aussi des proportions non négligeables avec respectivement 53189,19ha soit 18,71% pour les champs et jachères et 26477,82 ha soit 9,32% de la superficie totale du bassin pour les bâtis et sols nus. Enfin nous avons les forêts et savanes boisées avec seulement 7361,82 ha (soit 2,59% de la superficie totale).

Bilan de l'évolution de l'occupation du sol de 1986 à 2017

L'évolution d'ensemble sur les trois pas de temps choisi se présente au sein des différentes classes comme l'indique la figure 4.



Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/Sb : forêts/savanes boisées ; SAr/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses

Figure 4 : Graphique de l'évolution des unités d'occupation du sol de 1986 à 2017

Source : Travaux de laboratoire, 2019

L'évolution des différentes classes d'occupation du sol pour les trois pas de temps choisi se subdivise en deux niveaux : d'une part une évolution progressive des savanes arborées/arbustives, des champs/jachères et des bâtis/sols nus et d'autres part une évolution régressive des forêts/savanes boisées et des savanes herbeuses.

Analyses des changements

- **De 1986 à 2001**

Dans le tableau 7**,** les valeurs en gras indiquent les pourcentages de stabilité des classes d'occupation du sol de notre zone d'étude. Ainsi sur les 46720,98 ha correspondant à la superficie totale des forêts et savanes boisées observées en 1986, seuls 26,15% sont restées inchangés, 41,46% se sont transformées en savanes arborées et arbustives, 27,26% en savanes herbeuses, 2,18% en champs et

jachères et 2,95% en bâtis et sols nus soit une perte totale de 66,34% de leur superficie entre 1986 et 2001. Les savanes herbeuses ont aussi connu une régression dans cette période (43,248 à 40,93%). 50,10% de leur surface est restée inchangée, 20,85% se sont transformées en savanes arborées et arbustives, 1,48% en forêts et savanes boisées, 12,03% en champs et jachères et 7,54% en bâtis et sols nus. En 2001, seuls 28,25% de la surface du paysage occupée par les savanes arborées et arbustives en 1986 sont restées intactes, tandis que 1,77% sont devenues forêts et savanes boisées ; 69,98% ont été totalement converties en classe non forestière (savanes herbeuses (40,62%), champs et jachères (19,66%) et 9,70% pour les bâtis et sols nus)).

Tableau 7 : Matrice de transition des unités d'occupation du sol de 1986 à 2001

		1989				
		F/SB	SArb/arbust	SH	CJ	BSN
2001	F/SB	**26,15**	1,77	1,48	0,08	1,15
	SArb/arbust	41,46	**28,25**	28,85	15,66	23,70
	SH	27,26	40,62	**50,10**	27,47	22,84
	CJ	2,18	19,66	12,03	**37,74**	23,69
	BSN	2,95	9,70	7,54	19,04	**28,63**
	Class Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Class Changes	73,85	71,75	49,90	62,26	71,37
	Image Difference	-66,34	0,34	-5,87	169,11	82,60

Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/SB : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses
Source : Travaux de laboratoire, 2019

Quant à la classe « champs/jachères », sa proportion a évolué de 5,44 à 14,65% durant la même période. Avec 37,74% de taux de permanence, elle s'est majoritairement transformée en savanes herbeuses (27,47%) et en bâtis et sols nus (19,04%). Néanmoins 15,66% de sa superficie s'est converti en savanes arborées et arbustives et seulement 0,08% en forêts et savanes boisées. Enfin, la classe « bâtis et sols nus », avec 28,63% de stabilité, s'est transformée à 23,69% en champs et jachères, 22,84% en savanes herbeuses, à 23,70% en savanes arborées et arbustives et seulement à 1,15% en forêts et savanes boisées. De manière globale cette période (1986-2001) se caractérise par trois principaux types de dynamiques paysagères à savoir la stabilité des classes, la dynamique de densification de la couverture végétale et l'ouverture du milieu qui est beaucoup plus importante.

- **De 2001 à 2017**

Le bilan de la dynamique d'occupation du sol entre 2001 et 2017 indique une augmentation des superficies des savanes arborées et arbustives, ainsi que des champs et jachères. Les forêts et savanes boisées ainsi que les savanes herbeuses ont connu une régression de leurs surfaces. La superficie des bâtis et sols nus n'a vraiment pas changé au cours de cette période, mais on note néanmoins une légère augmentation de 4,29%. 29,84% des forêts sont restés inchangés au cours de cette période et 70,16% se sont transformés en d'autres unités d'occupation du sol. 42,78% se sont transformés en savanes arborées et arbustives, 21,27% en savanes herbeuses, 4,30% en champs et jachères et 1,81% en bâtis et sols nus. Quant aux savanes arborées et arbustives, 52,40% de leur surface est restée stable ; par contre 47,60% ont connu des mutations. Elles se sont majoritairement transformées en savanes herbeuses (29,04%).

Tableau 8 : Matrice de transition des unités d'occupation du sol de 2001 à 2017

		2001				
		F/Sb	SArb/arbust	SH	CJ	BSN
2017	F/Sb	**29,84**	1,86	0,91	0,05	0,15
	SArb/arbust	42,78	**52,40**	29,74	14,96	21,63
	SH	21,27	29,04	**46,67**	26,33	25,02
	CJ	4,30	13,02	18,19	**31,40**	28,10
	BSN	1,81	3,69	4,49	27,28	**25,10**

	Class Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	Class Changes	70,16	47,60	53,33	68,61	74,90
	Image Difference	-53,05	15,23	-14,37	27,72	2,35

Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/SB : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses

Source : Travaux de laboratoire, 2019

La classe des savanes herbeuses a aussi connu des transformations. Avec un taux de surface inchangée de 46,67% ; 53,33% de sa surface s'est transformé en savanes arborées et arbustives à 29,74%, en champs et jachères à 18,19%, en bâtis et sols nus à 4,49% et en forêts et savanes boisées à 0,91%. Les champs et jachères ont connu aussi des perturbations entre 2001 et 2017. 68,61% de leur superficie s'est transformé en savanes arborées et arbustives, en savanes herbeuses et en bâtis et sols nus dans les proportions respectives de 14,96%, 26,33% et 27,28%. Le taux de stabilité de cette classe au cours de cette période est de 23,38%. Il faut noter que seulement 0,05% de sa surface s'est transformée en forêts et savanes boisées au cours de la même période. La classe des bâtis et sols nus quant à elle est restée stable à 25,10% et a été perturbée à 74,90%. 25,02% de cette classe se sont transformées en savanes herbeuses, 28,10% en champs et jachères et 21,63% en savanes arborées et arbustives.

- **De 1989 à 2017**

De l'analyse du tableau 9, il ressort que la classe des savanes herbeuses est celle qui a connu plus de stabilité sur l'ensemble de la période d'étude avec 41,35% de surface restée inchangée. Néanmoins 33,30% de sa surface s'est transformée en savanes arborées et arbustives, 18,58% en champs et jachères, 5,86% en bâtis et sols nus et 0,91% en forêts et savanes boisées. Au total, 58,65% de sa superficie a alors subi des mutations. Avec 35,45% de stabilité, les bâtis et sols nus se sont principalement transformés en champs et jachères (25,64%), en savanes herbeuses (21,67%) et en savanes arborées et arbustives (16,78%).

Tableau 9 : Matrice de transition des unités d'occupation du sol de 1986 à 2017

		1986				
		F/SB	SArb/Arbust	SH	CJ	BSN
2017	F/SB	**11,59**	0,90	0,91	0,10	0,45
	SArb/Arbust	52,12	**32,71**	33,30	13,22	16,78
	SH	23,75	35,52	**41,35**	28,81	21,67
	CJ	9,35	21,22	18,58	**28,19**	25,64
	BSN	3,19	9,65	5,87	29,69	**35,45**
	Class Total	100	100	100	100	100
	Class Changes	88,41	67,29	58,65	71,81	64,55
	Image Différence	-84,20	15,62	-19,39	243,72	86,90

Légende : BSN : bâtis/sols nus ; CJ : champs et Jachères ; F/SB : forêts/savanes boisées ; SArb/Arbust : savanes arborées/arbustives ; SH : savanes herbeuses

Source : Travaux de laboratoire, 2019

Quant aux savanes arborées et arbustives, 67,29% (567 km^2) de leurs surfaces ont été mutées (35,52% en savanes herbeuses, 21,22% en champs et jachères, 9,65% en bâtis et sols nus et 0,90% en forêts et savanes boisées) contre 32,71% (275,62 km^2) qui sont restés stables. Les champs et jachères avec 28,19% (43,62 km^2) de taux de stabilité ont principalement migré en savanes herbeuses à 28,81% et en bâtis et sols nus à 29,69%. La classe des forêts et savanes boisées est celle qui a connu plus de perturbations sur l'ensemble de la période d'étude avec seulement 11,59% (54,14 km^2) de taux de stabilité. Elle a perdu au cours de cette période 84,20% (soit 394,80 km^2) de sa superficie. Cette situation s'explique sans nul doute par les actions des populations humaines sur ces formations eut égard leurs importances pour leur survie. Elles se sont transformées majoritairement en savanes arborées et arbustives (52,12%) et en savanes herbeuses (23,75%).

En somme il ressort de cette étude qu'au cours de ces 30 dernières années, il y'a eu progression des bâtis et sols nus, des savanes arborées et arbustives et des champs et jachères. Par contre les savanes herbeuses et les forêts et savanes boisées ont connu une régression de leur superficie. Il faut tout de même noter que ces progression et régression ne se font pas toujours de manières homogènes par rapport aux intervalles de temps choisi ni uniforme sur l'ensemble de la zone d'étude. Notons également que toutes ces unités d'occupation du sol évoluent de façon continue (pas d'évolution en dents de scie). Globalement, de 1986 à 2017, dans le bassin du Zio, les formations végétales fermées ont été les principales pourvoyeuses d'espace pour les autres classes d'occupation du sol. Sous l'effet des activités agricoles, de l'urbanisation et de l'exploitation forestière, ces paysages sont en dynamique permanente.

4. Discussion

La méthodologie adoptée a permis de voir les différentes unités d'occupation du sol ainsi que leurs transformations dans le temps et dans l'espace. Ces différentes unités d'occupation du sol sont regroupées au total en cinq classes qui sont : les forêts /savanes boisées, les savanes arborées/arbustives, les savanes herbeuses, le bâtis/sols nus et la mosaïque champs/jachères. L'étude montre que ces différentes classes d'occupation du sol ont connu des mutations entre 1987 et 2017 en passant par l'année 2001. La même méthodologie a été utilisée par Seou (2016), Takou (2016) et Kazimna (2021).

Les classifications des images satellites Landsat de 1986, 2001 et 2017 ont donné des précisions générales respectives de 89, 17%, 92,32% et 80,97% et des indices de Kappa respectifs de 85,55%, 89,32% et 75,27%. Or, les résultats de la classification d'une image satellite sont considérés comme fiables et exploitables, si l'indice de kappa de cette classification est supérieur à 50% (Pontius *et al.*, 2004). Les classifications effectuées dans le cadre des présents travaux ont des indices de kappa largement supérieurs à 50% et sont donc de bonne qualité. Ces classifications permettent de faire l'état des lieux de l'occupation du sol des différentes années et ainsi de percevoir les différents changements. Les résultats de ces traitements montrent que certaines classes d'occupation du sol sont classifiées avec plus de précision que d'autres. La difficulté à discriminer visuellement certaines classes peut être due à des signatures spectrales similaires. C'est le cas des classes des savanes arborées/ arbustives, savanes herbeuses, champs/ jachères et bâtis/sols nus qui ont montré quelques erreurs de confusion qui sont globalement faibles. L'erreur maximale de ces classifications est de 30,05% et a été enregistrée entre les classes champs/jachères et bâtis /sols nus. En dehors de cette valeur enregistrée, toutes les erreurs sont inférieures à 17%. Or, les erreurs de la classification d'une image satellite sont acceptables, si celles-ci sont inférieures à la valeur limite qui est égale à 70% (Mama & Oloukoi, 2003). Ainsi, les erreurs de classifications obtenues dans le cadre des présents travaux sont acceptables, étant donné qu'elles sont largement en dessous de la valeur limite.

L'analyse des résultats des classifications effectuées montre qu'entre 1986 et 2017, les formations végétales fermées ont connu une régression au profit des formations végétales ouvertes et des bâtis/sols nus dans le bassin du Zio. En effet au cours de cette période, on note une évolution régressive des forêts/savanes boisées et des savanes herbeuses. La classe des forêts/savanes boisées est de loin la plus perturbée. Avec une superficie totale de 467,21 km^2 en 1986, elle se retrouve à 158,11 km^2 en 2001 et avec seulement 73,62 km^2 en 2017. Ceci pour une perte totale de 393,6 km^2 soit plus de 84,24% de sa superficie initiale. Quant aux savanes herbeuses, elles ont perdu 19,28% de leur superficie soit 238,27 km^2 au cours de la même période. Contrairement à ces deux classes qui ont connu une régression de leurs superficies, on note une évolution progressive des savanes arborées/arbustives, des champs/jachères et des bâtis/sols nus. Les savanes arborées et arbustives évoluent donc de 842,63 km^2 à 974,26 km^2 entre 1986 et 2017 soit un gain de 131,6 km^2. L'évolution de la superficie des champs et jachères s'explique principalement par l'augmentation de la population et par ricochet l'augmentation des superficies embrasées pour l'agriculture afin de subvenir aux besoins alimentaires sans cesse grandissants. Quant aux bâtis et sols nus, l'augmentation de leur superficie résulte de l'implantation de nouvelles infrastructures et de l'installation des populations humaines.

La dynamique du couvert végétal au Sud-Togo est un sujet qui a été déjà abordé par plusieurs auteurs à l'instar de Bawa (1990) dans l'Adélé ; Agbozo (1996) dans l'Agou ; Tchamiè (2000) dans le Kloto et le Wawa ; Kouwamé (2005) dans le Litimé ; Tcheinti-Nabine (2006) dans le Danyi ; Takou (2010) dans l'ouest de la région des plateaux ; Kouya (2010) dans le plateau akposso ; Kudamah (2016) dans le bassin du Zio et Seou (2016) dans la basse vallée du Zio. Toutes ces études touchent une partie ou l'ensemble de la zone que couvre la présente étude, mais ces auteurs sont unanimes sur le fait que les

formations forestières sont en plein recul au profit des savanes et cultures. Ensuite l'on observe l'extension de l'habitat dans l'espace lié principalement à l'accroissement de la population et à la périurbanisation de notre secteur d'étude. Dobingar (1994) dans la banlieue ouest de Brazaville au Congo et Sanda, (2016) dans la périphérie urbaine nord de Lomé, sont parvenus aux mêmes résultats.

Conclusion

L'analyse multi date réalisée sur les paysages végétaux du bassin du Zio a permis de caractériser la dynamique paysagère sur les trois dernières décennies. Cette étude a été réalisée à partir d'une approche qui intègre à la fois la télédétection et les systèmes d'information géographique. La structure écopaysagère obtenue à partir de la classification des images Landsat a fait ressortir que les paysages végétaux du grand bassin du Zio sont couverts de mosaïques de savanes et de quelques formations forestières. Les savanes dans leur ensemble constituent la matrice écopaysagère avec plus de 70% de l'ensemble des paysages végétaux. Les tâches sont formées de forêts, des plantations, des formations des mares, des plans d'eau, des bâtis et de la mosaïque champs et jachère. Quant aux corridors, ils sont représentés par forêts galeries riveraines.

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol entre 1988 et 2017 révèle une régression continue des formations forestières. Globalement, de 1986 à 2017, dans le bassin du Zio, les formations fermées ont été les principales pourvoyeuses d'espace pour les autres classes d'occupation du sol. L'évolution des différentes classes d'occupation du sol pour les trois pas de temps choisi se subdivise en deux niveaux : Une évolution progressive des savanes arborées/arbustives, des champs/jachères et des bâtis/sols nus et une évolution régressive des forêts/savanes boisées et des savanes herbeuses. L'analyse de la matrice de transition montre une stabilité des classes à moins de 50% du paysage. Ce qui montre que le couvert végétal du bassin du Zio a connu une évolution essentiellement régressive au cours de ces trois dernières décennies. La dégradation des paysages végétaux du bassin du Zio est un véritable problème pour la survie des populations dudit bassin c'est pourquoi il est important d'analyser les facteurs expliquant cette dégradation afin de suggérer des moyens de gestion durable de ces écosystèmes déjà très fragile.

Références

Abotchi F. et Tchégnon N. (2006). Riziculture irriguée et mutations socio-économiques dans la basse vallée du Zio (Sud-Togo). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement* 2006 ; 13p

Adjossou K., 2009. *Diversité structure et dynamique de la végétation dans les fragments de forêts denses humides du Togo : les enjeux pour la conservation de la biodiversité*. Thèse de Doctorat en botanique. Université de Lomé, 190 p.

Agbegnido K., 2005. Organisation et efficacité des circuits de distribution du riz local au Togo : cas de la vallée du Zio. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur agronome. Université de Lomé. 92p.

Akpagana K., 1989. *Recherches sur les forêts denses humides du Togo*. Th. Doct. Sc. Nat., Univ. Bordeaux III, 195 p.

Arouna, O., Toko Imorou, I., Gibigaye, M., Alle, P., Tente, B. (2017). Analyse comparative de l'état de conservation des forêts classées, des forêts communautaires et des forêts sacrées au Sud-Bénin (Afrique de l'Ouest) *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 19 (1), 27p.

Cheinti-Nabine T., (2000). *Pratiques paysannes et dynamiques des systèmes agraires dans la région centrale du Togo.* Thèse pour l'obtention du doctorat de géographie rurale, Université de Lomé, 457p.

Di Gregorio A., et Jansen L., 1998. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Environment and Natural Resources Service, GCP/RAF/287/ITA Africover - East Africa Project and Soil Resources, Management and Conservation Service. 157pages. FAO, Rome.

Dobingar A. (1994). *Accroissement périurbain dans une ville du Tiers-Monde, le cas de la banlieue ouest de Brazaville*, UEPA 9, 176 p

Dureau F. (2004). Croissance et dynamiques urbaines dans les pays du Sud. *In Colloque sur La situation dans les pays du Sud : synthèse et ensemble des contributions de chercheurs des institutions de recherches partenaires*, (Dureau F. & Weber C.), Economica, Paris pp. 203-225.

Edjamé K. S. ; Adjetey-Bahun A. E. ; Amegee K. B. ; Nubukpo G. H. et Tevi-Bénissan D. (1998). Les grandes tendances climatiques à Lomé entre 1887 et 1997. *In Le centenaire de Lomé, capitale du Togo (1897-1997)* (Nyassogbo G.

K. ; Marguerat Y. ; Gayibor N.). Collection « Patrimoines » n° 7 Presses de l'UB Lomé, pp. 203-220.

Escadafal R. (2007). Les bases de la surveillance de la désertification par satellites. Sécheresse, 18: 263-270.

Étienne M. (2011). La géoprospective: apports de la dimension spatiale aux recherches prospectives. *Débats, Séminaire île Saint-Marguerite,* 4-5 avril 2011.

Fahrig L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual review of Ecology* and Sy Gam N. K. (1998). *Les problèmes d'approvisionnement en eau potable à Lomé, capitale du Togo*. Thèse de doctorat, Bordeaux III, 282 p.

Fahrig L. et Merriam G. (1985). Habitat patch connectivity and population survival. Ecology, 66, 1762-1768.

FAO (2000). *Étude sur les produits forestiers dans la République togolaise*. Rapport d'étude, XXp.

Forman R. T. T. (1995). *Some general principles of landscape and regional ecology. Landscape Ecology*, 10: 133-142.

Gomgnimbou P.K.A et *al*. ; 2010; Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la Kompiena (Burkina Faso), Sciences et Nature, 7,165-175).

Guelly A.K.(1994). Les savanes des plateaux de la zone forestière subhumide du Togo Thèse de Doctorat, Université Paris 6, 163 p.

Henle K. Kendi F. et Davies J., (2004). Species survival in fragmented landscapes: Where are we now? *Biodiversity and Conservation*, 13: 1-8.

Hetcheli F., 2013. Risques pluviométriques et nouvelles orientations des agriculteurs du canton de Togblékopé (basse vallée de Zio) au Togo. (2013), 55p.

Kazimna M., 2021. Les paysages vegetaux des massifs kabye : biodiversite, dynamique et potentiel de sequestration du carbone atmospherique. Thèse de doctorat ; Université de Lomé, 232p.

Klassou K. (1998). Croissance urbaine et inondation à Lomé, *in : Gayibor Y., Nyassogbo K. (éds) : Le Centenaire de Lomé, capitale du Togo (1897-1997)*, collection Patrimoine, pp. 13-28.

Klassou K. (2014). L'influence humaine dans l'origine et la gravite des inondations au Togo : cas de l'aménagement de l'espace dans la grande banlieue nord de Lomé (Togble-Adetikope). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n° 2, 2014, 13 p.

Kokou K., 1998. Les mosaïques forestières au sud du Togo : biodiversité, dynamique et activités humaines. Th. doct.,Univ. Montpellier II, 140 p.

Kouya. A. E.(2010) : les changements environnementaux et l'appauvrissement de la biodiversité en mileu montagnard Akposso (sud-ouest du togo). Thèse de doctorat, Université de Lomé, 246p.

Kudamah A. K.(2016). Analyse des unités paysagères du bassin versant du Zio : diversité, menaces et approches de solutions. Mémoire de master/ FDS/ UL, 55p.

Mama A. (2013*). Anthropisation des paysages au Benin : dynamique, fragmentation et développement agricole*. Université Libre de Bruxelles-Belgique, 198p.

Mama A. Sinsin B. ; De Cannière C. et Bogaert J. (2013). Anthropisation et dynamique des paysages en zone soudanienne au Nord du Bénin. *Tropicultura*, 31: 82-92.

Mc Garigal K. et Cushman S. A. (2002). Comparative evaluation of experimental approaches to the study of habitat fragmentation effects. *Ecological Applications*, 12: 335-345.

Nyassogbo K. (2010). Les contraintes de l'étalement urbain ou l'absence de politique urbaine dans les villes du Togo : l'exemple de Lomé. *In : ÀHƆHƆ, Revue de Géographie du Lardymes, n° 5-4ère année*, Université de Lomé, pp. 106-126.

Pontius G. R., Shusas E. et McEachern M., (2004). Detecting important categorical land changes while accounting for persistence. *In Agriculture*, *Ecosystems and Environment*, 101: 251-268.

Seou E. (2016). Quantification des changements d'occupation du sol dans la vallée du zio (Sud-Togo) à l'aide de l'imagerie satellitaire Landsat. Mémoire de master/Département de géographie/ UL. 117p.

Sinsin B. (1994). Individualisation et hiérarchisation des phytocénoses soudaniennes du nord-Bénin. *Belgium Journal of Botanic*, 127: 87-103.

Sinsin B. ; Eyog-Matig O. ; Assogbadjo A. E. ; Gaoué O. G. ; Sinadouwirou T. (2004). Dendrometric characteristics as indicators of pressure of Afzelia Africana Sm. *trees dynamics in different climatic zones of Benin*. Biodiversity and Conservation, 13: 1555-1570.

Takou P. W. (2010). *Apports de la télédétection et des systèmes d'information géographiques dans l'étude de la dynamique des paysages végétaux de la Région des Plateaux au TOGO*. Mémoire du DEA, Univ.de Lomé, 159 p.

Takou P. W. (2016). *Modélisation prospective de la ville de Lomé. Dynamique des paysages, scénarios prospectifs et simulation spatiale.* Thèse de doctorat de géographie de l'Université de Lomé 293 p.

Tchamiè T.T.K. (1998). Facteur humain et évolution des forêts mésophiles de la Région

des Plateaux (sud-ouest Togo). *In: Environnement et Développement en Afrique; Actes des Premières Journées Géographiques du Togo, Lomé du 10 au 13 février 1998.* Travaux et Recherches Géographiques, n° spécial, P.U.B. Lomé, p. 31-49.